

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-164930

(P2000-164930A)

(43) 公開日 平成12年6月16日 (2000. 6. 16)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

テーマコード^{*} (参考)

E

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平11-331422

(22) 出願日 平成11年11月22日 (1999. 11. 22)

(31) 優先権主張番号 1 9 6 9 2 8

(32) 優先日 平成10年11月20日 (1998. 11. 20)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

AGILENT TECHNOLOGIE

S, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル

ト ページ・ミル・ロード 395

(72) 発明者 ダニエル・エイ・ステイジャーワルド

アメリカ合衆国カリフォルニア州95014,

クバチーノ, ロックウッド・ドライブ・

10430-ビー

(74) 代理人 100063897

弁理士 古谷 馨 (外2名)

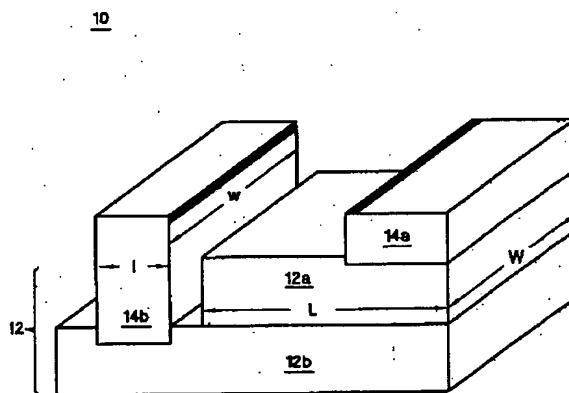
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光デバイスのための電極構造

(57) 【要約】

【課題】 所与の平均電流密度及び所与のデバイス断面積について発光領域における平均光強度を増大させることが可能な改善された電極構造を有する発光デバイスを提供すること。

【解決手段】 p形層及びn形層を有するヘテロ接合を備えた発光デバイス。n電極がn形層に電氣的に接続され、p電極がp形層に電氣的に接続される。該p電極及びn電極は、均一な光強度を有する領域を形成するように配置される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】発光デバイスであって、

デバイス構造体と、

p形半導体層及びn形半導体層を含む前記デバイス構造体内のヘテロ接合(12)と、

一方が前記p形半導体層に電氣的に接続され、他方が前記n形半導体層に電氣的に接続された、2つの電極(14a、14b)とを備えており、

任意の点における前記電極の内側輪郭間の最短距離が、該電極間の距離の平均の+35%～+150%内で変動し、前記2つの電極のうちの少なくとも一方の長さが、該発光デバイスの1つの側部の長さの65%以上であり、少なくとも1つの領域の光の均一性に関する光強度比が、 30 A/cm^2 以上の平均電流密度において3.0未満であり、該光の均一性に関する光強度比が、最大局所光強度 I_{max} と平均光強度 I_{ave} との比として規定されるものである、発光デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光デバイスの分野に関し、特に、これらデバイスの発光の均一性及び面積効率の改善に関する。

【0002】

【従来の技術】最も優れた性能を発揮する市販のAlInGaN発光デバイス(LED)は、例えば、サファイアのような絶縁基板上に成長させたものである。電極及びその接続パッドは、通常はデバイスのAlInGaN半導体層の上部に配置される。

【0003】動作中には、ワイヤボンディング(ボール又はウェッジ)、ハンダ付け、又は導電性接着剤による取り付けによって接続パッドに結合された外部端子を介してLEDに電流が送り込まれる。p電極及びn電極が、それぞれの半導体層に電流を注入し拡散させる。電流がp-n接合部を横切って順方向に流れ、これにより該p-n接合部で少数キャリアの再結合が生じた際に、光が発生する。典型的な動作条件下でデバイスから放出される光の強度 I は、電流密度 J 、即ち単位面積当たりの電流に比例する。所与の電流密度 J について、p-n接合部の面積が大きいほど、LEDにより生成される光強度 I も増すことになる。

【0004】AlInGaN材料系のp形半導体層は、n形半導体層よりもはるかに抵抗が大きいものである。その結果として、p電極から注入される電流が、p形半導体内で側方に拡散することではなく、またp電極から側方へ離れて拡散することはない。電流は、p電極から、p-n接合を横切る最短経路(即ち通常は垂直方向)に沿って、n形半導体層まで流れる。次いで、電流は、n形半導体層内で側方に拡散してn電極に到達する。

【0005】発光領域を最大限にするには、電流がp-n接続の可能な限り多くの部分を横切って流れなければ

ならない。従って、電流は、p形の表面の可能な限り大きな部分にわたって側方に広がらなければならない。側方への電流の広がりは、p形表面の大部分をp電極で覆うことにより改善することが可能である。このため、p電極は、接続パッドにより全体に又は部分的に覆われる。

【0006】接続パッドは、電氣的な機能性を提供するように導電しており、また機械的な機能性を満たす厚さを有していなければならない。結果として、接続パッドは、通常は金属である。必要な厚さを有する金属接続パッドは不透明である。ITO(インジウムスズ酸化物)等の透明な導電性酸化物からなるボンディングパッドもまた利用されたが、これは一般的なものではない。

【0007】市販のAlInGaN LEDの大部分は、デバイス内で生成された光をp層を介して抽出する。これらのデバイスは、複合p電極(例えば、p表面の大部分を覆う電流拡散のための薄い半透明材料等)と、この薄いp電極を可能な限り僅かな部分しか覆わないが市販製品としての信頼できる接続を可能にする厚い不透明な接続パッドとを備えている。p形の表面積を最大限にするためにn電極もまた小さく作製される。p-n接合部で生成された放出光の大部分は、半透明p電極のうち接続パッドにより遮蔽されていない部分を通してデバイスから漏出する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ナカムラ等の米国特許第5,563,422号における教示によれば、n接続パッド及びp接続パッドは、図1に示すようにデバイスの隅部に正反対の方向で対置させ又は配置すべきである。p接続パッドに隣接したp電極の領域からn層まで垂直方向下方に流れる電流は、p-n接合を垂直方向に通過した後、n形半導体層中をかなり長い水平距離にわたって横断してn電極に到達しなければならない。一方、n接続パッドに隣接したp電極の領域からn層まで垂直方向下方に流れる電流は、n形半導体層を僅かな水平距離にわたって横断してn電極に到達すればよい。該距離が長くなると、前者の電流経路に対してn形層中でかなりの量の直列抵抗が追加され、その結果として、n接触部のまわりで薄いp電極の縁部に電流が押し寄せることになる。

2つの接続パッド間の最も直接的な電流経路は、他の如何なる経路(デバイスの縁部に続く経路等)よりも強く偏重されるので、電流が該接続パッド間に押し寄せることになる。電流密度の不均一性は、平均電流密度が高くなるにつれて大きくなる。これは、n形半導体層における抵抗性電圧降下が増大するからである。この電流密度の不均一性は、図2に示すように、それに対応する光強度の不均一性を生じさせるものとなる。電流密度の不均一性の度合いは、最大局所電流密度 J_{max} と平均電流密度 J_{ave} との比 r によって示される。この比は、最大局所光強度 I_{max} と平均光強度 I_{ave} との比 R を測定す

ることにより概算することが可能である。これは、第1近似に関して光強度が電流密度に比例するからである。かかる測定は、光学装置を利用して、バイアスされたLEDのイメージングを近視野条件(near field condition)で行うことにより、一般に行われる。図2から分かるように比Rは極めて高いものとなる。

【0009】特に、平均電流密度が高い場合、及びLEDの寸法が大きい場合には、電流密度の不均一性は、LEDの光学的及び電気的性能の劣化に通じるものとなる。AlInGa LEDは、その発光のメカニズムに起因して、平均電流密度が高くなるにつれて発光効率が低下するという特性を示す。このため、電流密度が不均一である場合には、総合的な光学的効率の低い動作領域が生じることになる。更に、発光効率の不可逆的な劣化は、電流密度が高くなるにつれて増大するので、電流密度が不均一であれば、全体的な劣化速度が速まることになる(これは商業的な重要性を低劣化速度に依存する市販のLEDにとって重大な関心事である)。

【0010】先行技術のもう1つの欠点は、電極構成に起因して、発光材料としての基板領域の利用効率が悪化するという点である。所与の平均電流密度Jについて、p-n接合領域が大きいほど、LEDにより生成される平均光強度Iも高くなる。

【0011】

【課題を解決するための手段】改善された電極構造を有する発光デバイスは活性領域を備えている。該活性領域、例えばヘテロ接合は、p形層及びn形層を備えている。n電極は、n形層に電気的に接続されており、一方、p電極は、p形層に電気的に接続されている。p電極及びn電極は、動作中に均一な電流密度を提供し及びデバイス領域のうち発光に利用される部分を最適化するように、成形され配置される。最大局所電流密度 J_{max} と平均電流密度 J_{ave} との比が、3未満、好適には1.5~2未満になると、均一な電流密度に達する。均一な電流密度は、発光領域における最大局所光強度 I_{max} と平均光強度 I_{ave} との比によって測定される。

【0012】改善された電極構造は、3つのパラメータを別々に又は組み合わせて変更することにより実現される。その要素は、デバイスの形状、電極の形状、及び電極の位置である。デバイスは、球形若しくは半球形とすることが可能であり、又は、多角形、円形、楕円形、若しくは長円形の断面積を有するむくの柱状体とすることが可能である。各電極は、多角形又は円形等の丸い形状に形成することが可能である。代替的に、2つの電極のうちの少なくとも一方を区分化して均一な電流密度を有する領域を複数形成することも可能である。電極間の平均距離は、n電極及びp電極の長さ未満であることが好ましい。

【0013】改善された電極構造は、「面積利用率」Aを改善するものとなる。該面積利用率Aは、発光p-n

接合部の面積とデバイスの総面積 A_{tot} との比として定義される。従って、該改善された電極構造により、所与の平均電流密度 J_{ave} 及び所与のデバイス断面積について、発光領域における平均光強度 I_{ave} を増大させることが可能となる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明では、発光素子(LED)の表面(上部又は背面)の「面積利用率」は、p-n接合部(即ち発光領域)(面積?)と基板の総面積との比Aであると定義する。所与の平均電流密度について及び所与の基板面積の値について、発光強度は、前記比Aに比例して増大する。製造コストが主としてLEDの基板面積に比例するため、面積利用率Aを最大限にするのが有利である。

【0015】非AlInGa材料系の市販のLED(通常は1つの表面につき1つの接続パッドしか有していない)は、面積利用率の典型的な値 $A \sim 1.0$ を備えている。従来のAlInGa LED、例えば、同一表面上に両方の接続パッドが存在するAlInGa LEDは、 $A = 0.25 \sim 0.50$ という範囲の面積利用率値を有している。製造上の制約により、接続パッドのサイズは、例えば、 $0.075 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ に限定されてしまう。一表面上に所与の複数の接続パッドが設けられている場合には、 A_{tot} が大きいほど、それに対応するAも大きくなる。同一範囲の A_{tot} について(即ち、 A_{tot} の拡大に伴う製造コストの増大を被ることなく)、AlInGaデバイスに関する面積利用率Aが、先行技術により得られるよりも高くなるようにすることが望ましい。

【0016】改善された電極構造は、3つのパラメータを個々に又は組み合わせて変更することにより実現される。その要素は、基板の形状、電極の形状、及び電極の位置である。基板は、球形、半球形、又は(例えば、矩形、平方四辺形、六角形、若しくは三角形といった多角形又は円形及び楕円形を含むグループから選択された断面積を有する)むくの柱状体とすることが可能である。各電極は、(例えば、矩形、平行四辺形、三角形等の)多角形、互いに組み合わせた指状体、又は(例えば、円形、長円形、角が丸められた正方形等の)丸みのある形状のものとして形成することが可能である。代替的に、2つの電極の少なくとも一方を区分化して、電流密度の均一な複数の領域を形成することも可能である。電極間の平均距離は、n電極とp電極の長さより短いことが好ましい。

【0017】作動時の原理を例証するために、p形半導体材料は、均一な抵抗率 p 、幅 W 、及び厚さ t を有しているものとする。シート抵抗 R_{\square} は、 p/t と定義される。電流は、2つの矩形電極から材料中へと注入される。電極は、幅 w 及び長さ l を有している。電極は幅 s ($s \leq (L-2l)$)だけ隔てられている。電流の流れは均一である。何れかの電極の内側輪郭に沿った任意の

ポイントに関して、最短距離 s が一定に保たれる場合には、一層複雑な形状で上記と同様の流れの均一性を達成することが可能である。2つの電極間における電流の流れに対する抵抗 R は、次のように表すことができる：

$$R = R \square s / w \quad \cdots \cdots (1)$$

該式1において、全抵抗 R は、シート抵抗 $R \square$ と電極の形状寸法(s, w)とによって決まる。全抵抗 R は、距離 s を最短化し、幅 w を最長化すると、最小限になる。 p 接触から注入される正孔と再結合する前に電子が n 形半導体中を水平方向に横断する距離が一層短くなる。本発明によれば、キャリアが横断する距離が短縮され、該距離が電極全体にわたり同一になる。この距離の短縮により、デバイスの直列抵抗が低減され、総合的な電気特性が改善される一方、該距離をほぼ一定に保つことにより、局所電流密度が均一になる。電極は、互いに可能な限り接近して配置すべきである。これらの電極は、デバイスの縁部の大部分を覆うことが好ましく、また該電極間の距離は、電流を均一に広げるために可能な限り均一にすべきであり、これにより、後述するように、電気的な挙動、発光上の挙動、及び信頼性のある挙動に関して利点が得られることになる。

【0018】電極は、半導体材料に電気的に接続された導電層である。単純電極(simple electrode)は、動作時の等電位表面であり、例えば、その電圧は、その表面のどのポイントにおいても同じになる。デバイスによっては複合電極を必要とするものがある。複合電極(compound electrode)は、電流を拡散させて光を抽出するために極めて薄い(例えば $0.2 \mu m$ 以下の)半透明の更なる導電層(典型的には、高抵抗率の p ドープ層及び一層厚い電極又は p 接続パッドに電気的に接続される)を含むことが可能なものである。該薄い導電層も電極であるが、等電位表面でない場合が多く、例えば、高い抵抗率を有し、その表面上の幾つかのポイント間でかなりの電圧の差が生じるものとなる。

【0019】図3には、本発明のLEDが例示されている。LED10は、随意選択の基板(図示せず)上に活性領域12を備えている。活性領域12、例えばヘテロ接合部は、 p 形半導体層12a及び n 形半導体層12bを有している。 p 電極14a及び n 電極14bは、それぞれ対応する半導体層に電気的に接続されている。 p 電極14a及び n 電極14bは、動作時に均一な電流密度を提供するように成形及び配置されている。太線は、それら2つの電極の内側輪郭を強調したものである。該デバイス構造は、随意選択の基板、活性領域、及び電極を備えている。最大局所光強度 I_{max} と平均光強度 I_{avg} との比が3未満(好適には1.5~2未満)である場合に、均一な電流密度が得られる。

【0020】単純電極の場合には、任意のポイントにおける電極の内側輪郭間の最短距離が、該電極の内側輪郭間の平均距離の+35%~150%以内であることが望まし

い。また、複合電極の場合には、任意のポイントにおける接続パッドの内側輪郭間の最短距離が、該接続パッドの内側輪郭間の平均距離の±35%以内であり、及び任意のポイントにおける電極間の最短距離が、該電極間の平均距離の+35%~150%以内であることが望ましい。

【0021】これらの性能指数は、次のように導き出された。平均的な人間の目は、その光受容体が光強度によって飽和しないものと仮定した場合、光強度の変動が3倍にわたると、可視光の強度差を容易に識別する。識別力のある目であれば、2倍の光強度の変動でも可視光の強度差を識別することができる。該変動が1.5未満になると、人間の目は光強度の差を識別することができない。図2(先行技術)には、光の均一性に関する強度比(light uniformity intensity ratio)(以下、光強度比と称す)が3を超える場合が示されているが、後続の図には、光強度比が3未満の場合が例示されており、そのほとんどの場合が1.5未満である。

【0022】図3~図8Eに示す本発明の実施態様では、電極の最短長は、該電極が配置されているデバイス側部の長さの75%である。接続パッドの内側輪郭間の距離の最大偏差は±35%である。 p 電極及び n 電極の内側輪郭間の平均距離 s からの最大偏差は±20%である。その結果として、図3~図8Hに示す実施態様のサブセットに従って作製されたデバイスには、平均電流密度が $50 A/cm^2$ である場合に、2を超える光強度比を示すものはなかった。

【0023】図4A, 4Bは本発明の実施態様を示している。デバイスは、多角形の断面積を有するむくの柱状体である。 p 電極及び n 電極は、該多角形の少なくとも2辺の長さの少なくとも65%の長さを有している。長円形デバイスの場合には、2つの電極の少なくとも一方は、該デバイスの周辺長の25%以上の長さを有する。電極は、単純電極及び複合電極の何れにすることも可能である。電極の内周辺は、互いに平行であることが好ましい。前記多角形は、正方形、六角形、八角形、矩形、又は、平行四辺形であることが好ましい。

【0024】デバイスの総断面積の少なくとも1/3に均一な電流が流れ、これにより最悪の場合でも光強度比が3未満になることを確実にするために、65%の性能指数が選択された。これと同様の理由で、複合電極の接続パッド間の平均距離からの偏差に関して±35%の性能指数が選択された。

【0025】図5A~Bには、複合電極を有する代替実施態様が示されている。該複合電極の接続パッドは、例えばボールボンディング又はウェッジボンディング等のワイヤボンディング、ハンダ付け、又は導電媒体による取り付けに適している。電極は、接続パッド間の発光領域のサイズを増大させるために、接続パッド領域から離れるにつれてテーパがつけられている。図5Bに示す実施態様の場合、電極の内周の長さは、電極間の平均距

離よりも長い。この構造によって、デバイスの電気抵抗が小さくなる。

【0026】図6A及び図6Bは、50mAの電流で順バイアスされた場合における図5A及び図5Bに示すLEDの近視野光学顕微鏡写真を例示したものである。デバイスの発光領域にわたって均一な強度が存在する。図2とは異なり、2つの電極間のギャップ近くに押し寄せる電流は認められず、薄い電極で覆われた領域における光強度の差も認められない。

【0027】図7では、図1、図5A、及び図5Bに示すLEDに関するI-V曲線を比較したものである。図1は、「従来のLED」に対応している。図5Aは、「実施態様1」に対応し、図5Bは、「実施態様2」に対応している。2つのAlInGaNウェハが半分に分割されている。一方の組をなす半ウェハは、図1によるデバイスに従って製作され、もう一方の組をなす半ウェハは、図5A及び図5Bに示すデバイスに従って製作された。それらの各デバイスは、例えば、約 1.2×10^{-3} といった同じ総断面積を有している。ウェハ分割の両側において、互いに可能な限り近接するように選択されたデバイスに関して典型的なI-V曲線が示されている。y軸には、駆動電流 I_d を示し、x軸は、駆動電圧 V_d を示している。大電流時における曲線の勾配は、デバイスの直列抵抗にほぼ反比例する。図7には、図5A及び図5BによるAlInGaN LEDの直列抵抗の低減が示されている。これらのデバイスは、従来のチップ($R_s = 21.3 \Omega$)よりもおよそ10%（「実施態様1」の場合、 $R_s = 19.9 \Omega$ ）～20%（「実施態様2」の場合、 $R_s = 17.3 \Omega$ ）低い直列抵抗を有しており、他の全ての成長及び製作パラメータは等しいものである。この直列抵抗の改善により、駆動電流が50mAの場合に動作電圧に0.2～0.3Vの利得が得られ、図5A及び図5Bによるデバイスの場合、その電流で、20mAで駆動される図1の先行技術によるデバイスの平均電圧に匹敵する平均電圧が生じる。電極の離隔距離が該電極の長さよりも遙かに短いため、「実施態様2」の一層良好な電気性能が期待される。駆動電流が増大すると、 R_s の低減による駆動電圧の改善は更に劇的なものとなる。また、駆動電流が減少すると、 R_s による影響は小さくなるが、局所電流密度の均一性によって、 V_d の改善が依然として認められる。図5A及び図5Bのデバイスの場合には20mAの駆動電流で3.25Vの順方向電圧が測定されたが、図1のデバイスの場合には3.4Vが測定された。

【0028】後日に成長させたAlInGaN材料で実施された同様のもう1組の実験では、同様の1組のデータ及び結論が得られた。図5A、図5B、及び図1に示すデバイスについては、それぞれ、20mAの順方向駆動電流で、3.05V、2.85V、及び3.35Vの平均値が得られた。また、図5A、図5B、及び図1に示すデバイスについて、それぞれ、50mAの順方向駆動電流で、3.65V、3.3

5V、及び4.15Vの平均値が得られた。

【0029】「面積利用率」は、図5Aのデバイス($A_{tot} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$)の場合には60%であると算出される。これは、同様の A_{tot} 値に関して25～50%の面積利用率Aを一般に呈する、図1に示す幾何学形状で製造されたデバイスに対する改善である。図5A及び図5Bに示すデバイスは、大量生産に適した標準的な半導体作製技術で製造される。面積利用率Aは、幅を狭くしたテーパー状のアームを形成し、接続パッドの領域を縮小し、及び一層厳しい公差を用いることにより、改善することが可能である。図5A及び図5Bに示す実施態様は、ワイヤボンディングを施したデバイスとして示されているが、デバイスは、フリップチップ構成で製造することも可能である。

【0030】図8A～Hは、本発明の代替実施態様を示している。電極は、単純電極又は複合電極とすることが可能である。各実施態様とも、デバイスの断面積により電流密度が制御される。図8Aの場合、断面は平行四辺形である。図8Bの場合には、断面は、例えば、楕円形、円形、又は球形といった丸い形状である。図8Cの場合には、断面は六角形である。図8Dの場合には、断面は不規則な多角形である。図8Eの場合には、断面はテーパーがつけられた接続パッドを備えた平行四辺形である。これら図8A～8Eの場合、電極の内側輪郭は、互いに平行であるが、デバイスの断面積の側部に対して必ずしも平行であるとは限らない。

【0031】図8Fの場合、断面積は、六角形であり、少なくとも1つの複合電極を備えている。該複合電極の接続パッドは六角形の角の近くに配置される。図8Gは、図8Fに示すデバイスの代替実施態様を示している。その断面は、7つ又は8つ以上の辺を有する多角形、又は、随意選択的に楕円形又は円形とすることが可能である。図8Hは、図8Fに示すデバイスの代替実施態様を示している。その断面は、5つまたは4つ以下の辺を有する多角形である。図8F～8Hの場合、内側電極は、互いにほぼ平行であるが、断面積の側部に対して平行ではない。

【0032】図3～図8は、2以下の値を有する電流密度均一性及びそれに伴う光強度均一性並びに $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 未満の総断面積について50%以上の面積利用率を生じさせる実施態様を示している。断面積が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 以上である場合、以下で提示する実施態様は、一層低い均一性及び一層高い面積利用率を生じさせるものとなる。

【0033】図9には、接続パッドが取り付けられており、基板周囲の3つの辺を包囲し、及びn形半導体層に接続された、複合電極を有している、断面が矩形で寸法が $0.3 \times 0.4 \text{ mm}^2$ である基板を備えた実施態様が示されている。このn電極は、2つの外側アーム、N個($N \geq 0$)の内側アーム、及び前記2つの外側アームと前記N

領域の少なくとも75%（好適には100%）を包囲する。
p形半導体層には第2の複合電極が接続されている。該複合電極は、発光領域の大部分にわたって電流を拡散させるための半透明金属層と接続パッドとから構成されている。この実施態様における接続パッドは、直径約0.1mmのワイヤボンディングを施すことが可能なものである。発光領域は、外側アームの突出部内に完全に包囲されている。

【0034】外側又は包囲電極によって、電流密度の均一性が向上し、デバイスの直列抵抗が小さくなる。図10は、図9のLEDの断面図を示している。外側電極のアームによって電流の流れる2つの独立した経路が提供されるため、平均電流密度が有効に低下することにより、電流の均一性が改善される。更に、電流がn形半導体層内を側方に移動しなければならない平均距離は、発光デバイスの直列抵抗の低減に通じるものとなる。図11は、図9に示すデバイスと図1に示す先行技術によるデバイスとのI-V曲線を比較したものである。図9のデバイスは、デバイスに順方向に20mAを注入するのに必要な電圧として定義される動作電圧の低下、及びI-V曲線の勾配関係により明示される直列抵抗の大幅な低減を呈するものとなる。順方向電圧及び直列抵抗の値は、図9のデバイスの場合には、2.86V及び9.6Ωであり、図1に従って作製されたデバイスの場合には、3.19V及び21.6Ωである。電流密度の均一性の改善は、図12A及び図12Bで立証されている。同図は、50mA及び200mAに順バイアスされた場合における図9のLEDの近視野光学顕微鏡写真を示すものである。これらの図には、図1のデバイスに関する図2に示された同様の顕微鏡写真とは対照的に、識別可能な発光強度の不均一性が示されていない。

【0035】面積利用率は、図9のデバイスの場合には55%であると算出され、図1のデバイスと比較してかなり改善されている。図9に示すデバイスは、大量生産に適した標準的な半導体作製技術により製造される。面積利用率は、より幅の狭いアームを形成し、及びより厳しい公差を用いることにより、大幅に改善することが可能である。図9の実施態様はワイヤボンディングを施したデバイスとして示されているが、LEDはフリップチップ構成で製造することが可能である。本発明の目的のため、アームは、任意の形状の単一電極又は複数の接続された電極であると考えることができる。

【0036】図13は、断面が正方形で寸法が1.0×1.0mm²の基板を有する本発明の代替的な実施態様を示すものであり、該基板は、その周囲の三辺を包囲してn形半導体層に接続されると共に2つの接続パッドを有する第1の複合電極を備えている。第2の複合電極は、p形半導体層に接続されている。該第2の複合電極は、発光領

パッドは、ワイヤボンディングを意図したものであり、ほぼ0.1mmの直径を有している。複数の接続パッドが、冗長性のため及び大きな動作電流での動作のために両電極に接続される。発光領域は、外側電極のアームの突出部内に完全に包囲されている。この外側包囲電極は、電流密度の均一性を改善し、LEDの直列抵抗を低減させる働きをする。

10 【0037】図14は、図13のLEDの部分断面図を示している。外側電極のアームによって、電流の流れる2つの独立した経路が得られるため、平均電流密度が有効に低下することにより電流の均一性が改善される。電流がn形半導体層内を側方に移動しなければならない平均距離の短縮によってLEDの直列抵抗が低減する。また複数の平行アームによって追加の経路が形成され、これによりLEDの直列抵抗が更に低減する。

20 【0038】図15は、240mAの順方向電流で2.92Vの動作電圧及び1.2Ωの直列抵抗を呈する、図13に示すデバイスに関するI-V関係を示すグラフである。電流密度の均一性は、500mAの順方向電流で動作する発光領域の一部に関する近視野光学顕微鏡写真である図16において立証される。~70A/cm²の電流密度に対応するこの電流での発光において認識可能な強度の不均一性が存在しないことは明らかである。

30 【0039】図13に示すこの1×1mm²のLEDの面積利用率は、計算すると74%になる。該デバイスは、大量生産に適した標準的な半導体製造技術によって製造される。面積利用率は、一層幅の狭いアームを形成し、及び一層厳しい公差を用いることにより、大幅に改善することが可能である。図13に示した実施態様は、ワイヤボンディングが施されたデバイスとして示されているが、LEDはフリップチップ構成で製造することが可能である。

40 【0040】図9及び図13で詳細に示した実施態様は、特定の基板サイズ及び形状について示されたものであるが、容易なプロセス及び設計上の考慮事項を用いて、現在の製造能力に合わせて広範なLEDを作製することも可能である。図17A及び図17Bには本発明の代替的な実施態様が示されている。

50 【0041】図18は、矩形基板の周囲の四辺全てを完全に包囲してn形半導体層に接続された第1の複合電極を有する本発明によるデバイスを示している。該n電極は、外側電極又は完全包囲電極と呼ばれ、単一の接続パッドを含んでいる。また第2の複合電極はp形半導体層に接続されている。該p電極は、発光領域の大部分にわたり電流を拡散させるための半透明の金属層と単一の接続パッドとから構成される。該実施態様における接続パッドは、ボンディングワイヤを意図したものであり、0.1mmの直径を有している。発光領域は、外側電極内に完

全に包囲されている。他の実施態様では、複数の接続パッドを備えることも可能である。

【0042】該完全包囲外側電極により、電流密度の均一性が改善され、LEDの直列抵抗が低減する。図19は、4つの異なる基板サイズについて図1及び図18のデバイスのI-V関係を示すグラフである。基板サイズは、 $0.35 \times 0.35 \text{mm}^2$ 、 $0.50 \times 0.50 \text{mm}^2$ 、 $0.70 \times 0.70 \text{mm}^2$ 、及び $0.85 \times 0.85 \text{mm}^2$ である。図18のデバイスは、全て、20mAを超える全ての電流で動作電圧の低下を示し、図1に示す幾何学形状で製造された同じサイズのデバイスよりも大幅に小さい直列抵抗を示す。200mAでの順方向電圧の値及び直列抵抗の値は、 $0.85 \times 0.85 \text{mm}^2$ の基板による図18のデバイスの場合には、4.0V及び 3.6Ω となり、それと同じ寸法を有する図1のデバイスの場合には、5.5V及び 10Ω となる。

【0043】図18の完全包囲外側電極によって、最小限の基板サイズを有するデバイスの電流密度の均一性及び光出力が改善される。図20は、4つの基板サイズについて図1及び図18のデバイスに関する光出力-電流関係(P-I)を示したものである。全てのデバイスは、同じタイプのエポキシパッケージにカプセル化された。150mAを超えたとき、図18の最大大きさのデバイス及びその次に大きなサイズのデバイスは、それらと同じ大きさの図1の2つのデバイスを明らかに超える光出力を発生する。この光出力の増大は、図1のデバイスと比較して改善された図18に示すデバイスの電流密度の均一性によるものである。図21A~21Cは、本発明の代替的な実施態様を示している。本発明の目的のため、突出部は、任意の形状を有する単一の電極又は複数の接続された電極と考えることができる。

【0044】図22A, 22Bは、n形半導体に接続された複数の複合電極を備えた本発明の代替実施態様を示している。各複合電極は、均一な電流拡散を改善するためのアームと、それに取り付けられた接続パッドとを備えている。この複数のn電極は、区分化された外側電極と呼ばれている。第2の複合電極はp形半導体層に接続されている。該第2の複合電極は、大部分の発光領域に電流を拡散させる半透明の金属層と、単一の接続パッドとから構成されている。該接続パッドは、ワイヤボンディングを施すことが可能なものであり、0.1mmの直径を有している。発光領域は、外側電極の突出部内に完全に包囲されている。区分化された外側電極によって、LEDの光学的な効率を低下させる不透明材料を最小限にすると共に、最適な電流拡散が得られる。

【0045】図23A~23Dは、同一基板上に複数の独立した発光領域を有する本発明の代替実施態様を示すものであり、該発光領域は、広範なI-V関係を提供するように様々な態様で電氣的に接続される。接続用の金属被覆(connecting metalization)は、多段製造(multiple level fabrication)技術によって製造することが可

能である。その幾何学形状により、同じウェハ製造プロセスを利用して、任意の増分単位面積(incremental unit area)でデバイスを実現することが可能になる。

【0046】以下においては、本発明の種々の構成要件の組み合わせからなる例示的な実施態様を示す。

1. 発光デバイスであって、デバイス構造体と、p形半導体層及びn形半導体層を含む前記デバイス構造内のヘテロ接合(12)と、一方が前記p形半導体層に電氣的に接続され、他方が前記n形半導体層に電氣的に接続された、2つの電極(14a, 14b)とを備えており、任意の点における前記電極の内側輪郭間の最短距離が、該電極間の距離の平均の+35%~+150%内で変動し、前記2つの電極のうちの少なくとも一方の長さが、該発光デバイスの1つの側部の長さの65%以上であり、少なくとも1つの領域の光の均一性に関する光強度比が、 $30 \text{A}/\text{cm}^2$ 以上の平均電流密度において3.0未満であり、該光の均一性に関する光強度比が、最大局所光強度 I_{max} と平均光強度 I_{avg} との比として規定されるものである、発光デバイス。
2. 前記デバイス構造体が、断面を有するむくの柱状体であり、前記2つの電極の長さが、前記断面の1つの側部の長さの65%以上である、前項1に記載の発光デバイス。
3. 前記デバイスの断面が、多角形であり、前記2つの電極の長さが前記多角形の少なくとも2つの辺の長さの65%以上である、前項1に記載の発光デバイス。
4. 前記2つの電極の内側輪郭が前記多角形の辺と平行である、前項3に記載の発光デバイス。
5. 前記2つの電極の内側輪郭が互いに平行である、前項3に記載の発光デバイス。
6. 前記多角形が、正方形、六角形、八角形、矩形、台形、及び平行四辺形を含むグループから選択される、前項3に記載の発光デバイス。
7. 前記2つの電極のそれぞれが、ワイヤボンディング領域(14a, 14b)を備えており、該電極の形状が、前記ワイヤボンディング領域から離れるにつれてテーパがつけられたものである、前項3に記載の発光デバイス。
8. 前記断面の形状が、円形、楕円形、及び長円形を含むグループから選択され、前記2つの電極のうちの少なくとも一方が、該デバイスの周辺長の25%以上の長さを有している、前項1に記載の発光ダイオード。
9. 前記デバイス構造体が、球形及び半球形を含むグループから選択される、前項1に記載の発光デバイス。
10. 前記2つの電極(14a, 14b)のうちの一方が、発光領域の100%を包囲する形状を有する包囲電極である、前項1に記載の発光デバイス。
11. 前記包囲電極(14a, 14b)の形状が、矩形、円形、正方形、平行四辺形、楕円形、及び長円形を含むグループから選択される、前項10に記載の発光デバイス。
12. 前記包囲電極(14a, 14b)の形状が、それらに対応す

る半導体層中に電流を拡散させるよう作用する突出部を含む、前項10に記載の発光デバイス。

13. Q ($Q \geq 2$) 個の電氣的に接続された領域を画定すると共に発光領域を包囲するように配置された複数のn電極及びp電極(14a、14b)を備えている、前項1に記載の発光デバイス。

14. 前記Q個の電氣的に接続された領域が、多段メタライゼーション(multilevel metalization)を利用して接続される、前項13に記載の発光デバイス。

15. 前記2つの電極(14a、14b)の一方が、2つの外側アーム及びN ($N \geq 0$) 個の内側アームと、前記2つの外側アームと前記N個の内側アームとを接続するクロスビームとを備えており、前記2つの外側アームの突出部が、発光領域の75%以上を包囲する、前項1に記載の発光デバイス。

16. 前記2つの外側アームと前記N個の内側アームとの間に配置された接続パッド(14a、14b)を備えている、前項15に記載の発光デバイス。

17. 前記2つの電極(14a、14b)の他方が、M ($M \geq 1$) 個の先端を有するフォーク状に形成されている、前項16に記載の発光デバイス。

18. 前記M個の先端が、前記2つの外側アームと前記N個の内側アームとの間に配置されている、前項17に記載の発光デバイス。

19. 前記N個の内側アームと前記M個の先端との間の距離が一定である、前項18に記載の発光デバイス。

20. 前記2つの外側アームの突出部が発光領域の100%を包囲する、前項17に記載の発光デバイス。

21. 発光領域の面積と前記デバイス構造体の全面積との比として規定される面積利用率が少なくとも60%であり、前記デバイス構造体の面積が 0.2mm^2 以上である、前項1に記載の発光デバイス。

22. 発光領域の面積と前記デバイス構造体の全面積との比として規定される面積利用率が少なくとも60%であり、前記デバイス構造体の面積が 0.2mm^2 以上である、前項10に記載の発光デバイス。

23. 発光領域の面積と前記デバイス構造体の全面積との比として規定される面積利用率が少なくとも60%であり、前記デバイス構造体の面積が 0.2mm^2 以上である、前項15に記載の発光デバイス。

24. 前記2つの外側アームと前記N個の内側アームとの間に接続パッドが配置されている、前項23に記載の発光デバイス。

25. 前記2つの電極(14a、14b)の他方が、M ($M > 1$) 個の先端を有するフォーク状に形成されている、前項23に記載の発光デバイス。

26. 前記M個の先端が、前記2つの外側アームと前記N個の内側アームとの間に配置されている、前項25に記載の発光デバイス。

27. 前記N個の内側アームと前記M個の先端との間の距

離が一定である、前項26に記載の発光デバイス。

28. 前記2つの外側アームの突出部が発光領域の100%を包囲する、前項25に記載の発光デバイス。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の発光ダイオード(LED)を示す説明図である。

【図2】50mAで順バイアスされた図1のLEDの近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図3】本発明のLEDを示す斜視図である。

【図4A】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図4B】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図5A】ワイヤボンディングに関して最適化された接続パッド領域を備える本発明の実施例を示す図である。

【図5B】ボンディングワイヤに関して最適化された接続パッド領域を備える、本発明の実施例を示す図である。

【図6A】50mAで順バイアスされた図5AのLEDの近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図6B】50mAで順バイアスされた図5BのLEDの近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図7】図1及び図5A～Bに示すLEDのI-V曲線を比較したグラフである。

【図8A】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8B】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8C】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8D】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8E】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8F】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8G】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図8H】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図9】外側電極を備えた本発明の実施例を示す説明図である。

【図10】図9のLEDにおける電流の流れを概略的に示す説明図である。

【図11】図1及び図9に示すLEDに関するI-V曲線を比較したグラフである。

【図12A】50mAで順バイアスされた図9のLEDの近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図12B】200mAで順バイアスされた図9のLEDの近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図13】互いに組み合わされた外側電極及び内側電極を備える代替実施例を示す説明図である。

【図14】図13の本発明における電流の流れを概略的に示す説明図である。

【図15】図13に示すLEDに関するI-V曲線を示すグラフである。

【図16】500mAで順バイアスされた図13のLEDの一部の近視野光学顕微鏡写真を示す図である。

【図17A】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図17B】本発明の代替実施例を示す斜視図である。

15

【図 18】発光領域を完全に包囲した外側電極を備える代替実施例を示す説明図である。

【図 19】図 1 及び図 18 に示す LED に関する I-V 曲線を比較したグラフである。

【図 20】図 1 及び図 18 に示す LED に関する光学的な P-I 曲線を比較したグラフである。

【図 21 A】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図 21 B】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図 21 C】本発明の代替実施例を示す説明図である。

【図 22 A】区分化された外側電極を備えた代替実施例 10 を示す説明図である。

【図 22 B】区分化された外側電極を備えた代替実施例を示す説明図である。

【図 22 C】区分化された外側電極を備えた代替実施例を示す説明図である。

【図 23 A】複数の分離された LED を備えており、該 *

16

* LED が様々な直列及び並列方法で接続されている、本発明の実施例を示す説明図である。

【図 23 B】複数の分離された LED を備えており、該 LED が様々な直列及び並列方法で接続されている、本発明の実施例を示す説明図である。

【図 23 C】複数の分離された LED を備えており、該 LED が様々な直列及び並列方法で接続されている、本発明の実施例を示す説明図である。

【図 23 D】複数の分離された LED を備えており、該 LED が様々な直列及び並列方法で接続されている、本発明の実施例を示す説明図である。

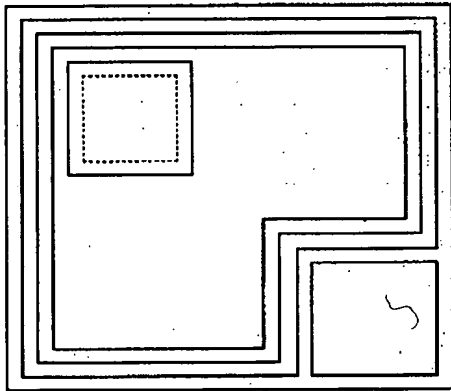
【符号の説明】

12 ヘテロ接合

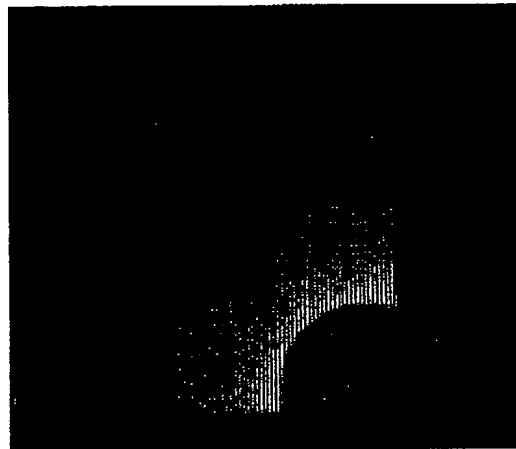
14 a 電極

14 b 電極

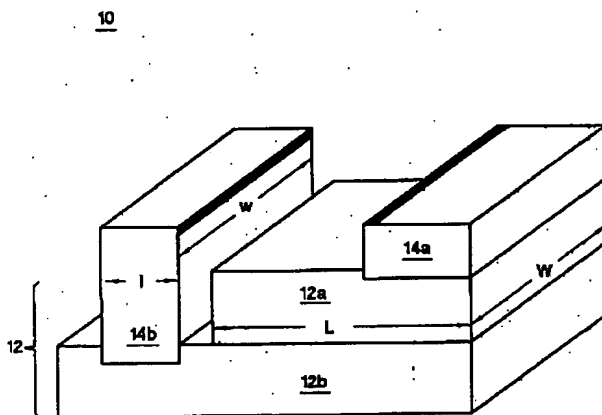
【図 1】



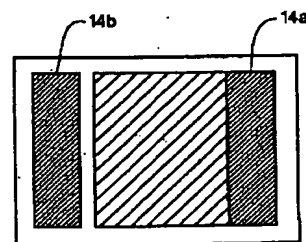
【図 2】



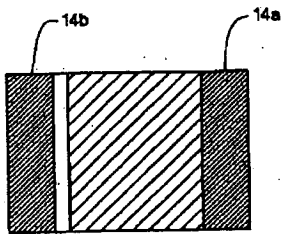
【図 3】



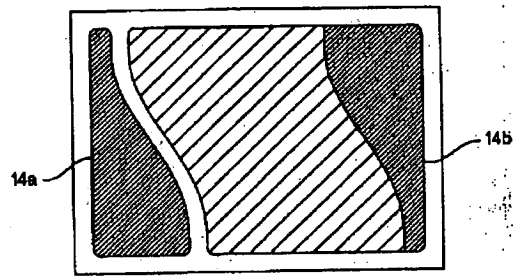
【図 4 A】



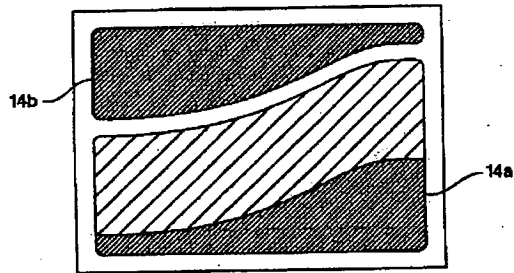
【図4B】



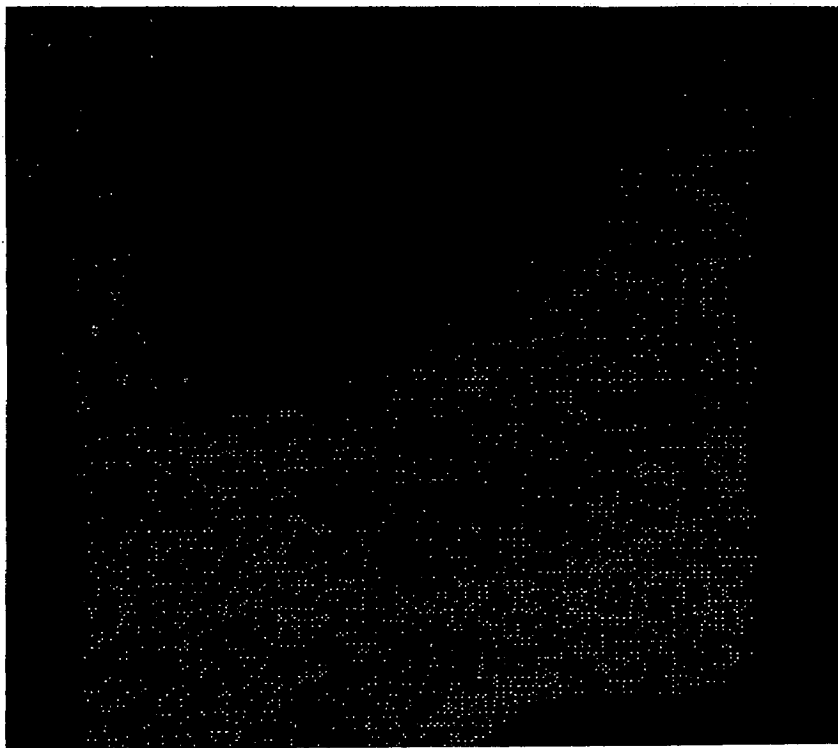
【図5A】



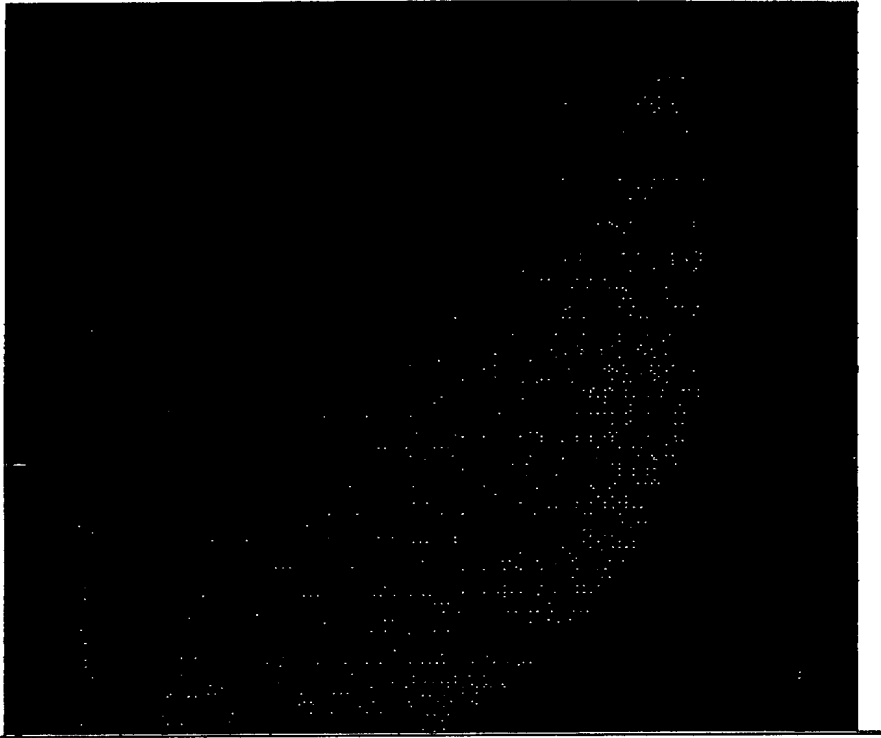
【図5B】



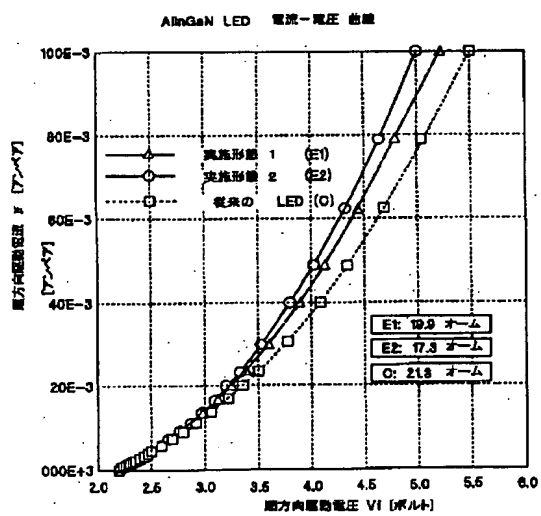
【図6A】



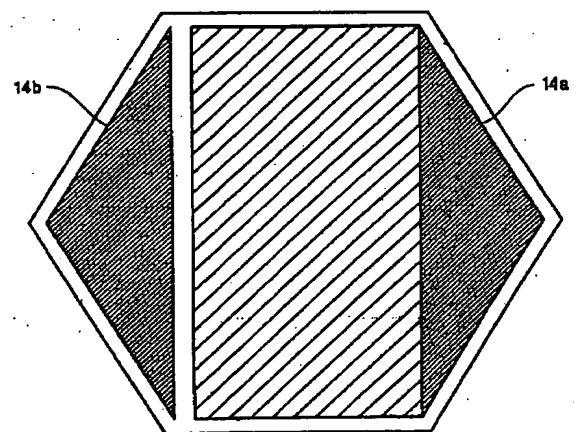
【図6B】



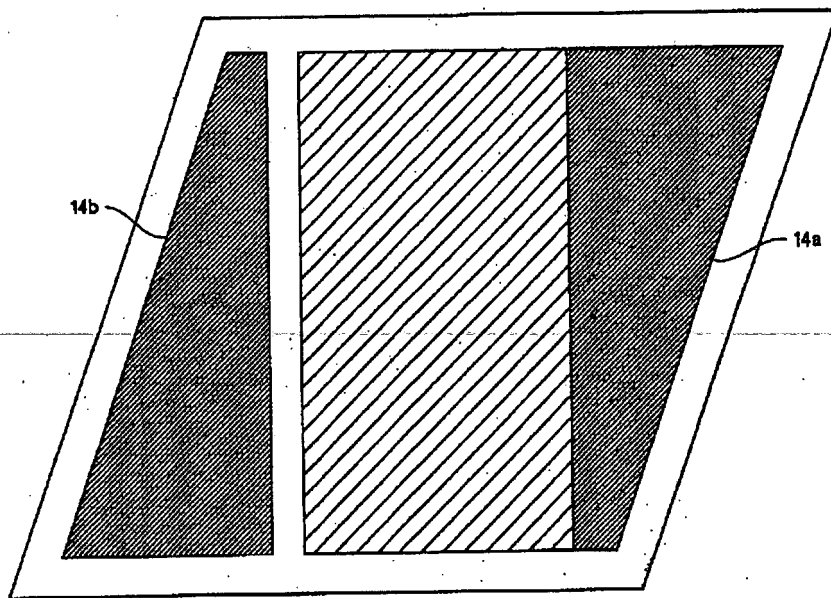
【図7】



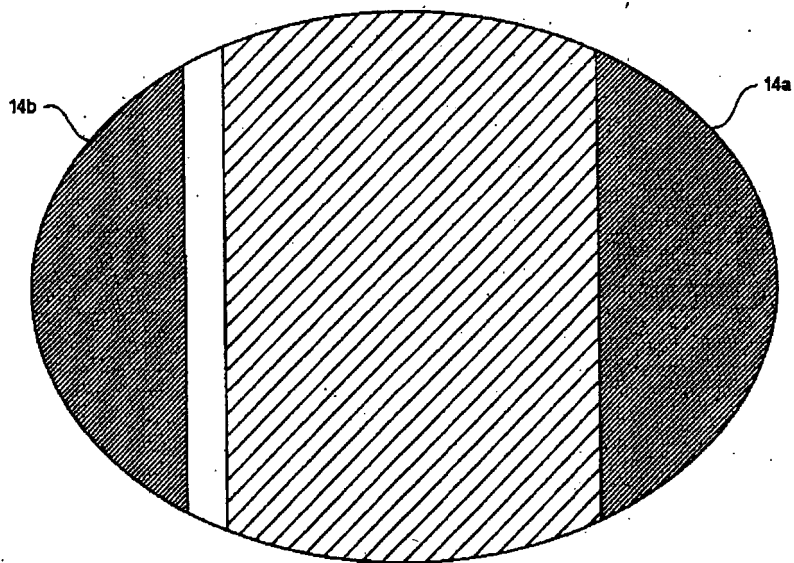
【図8C】



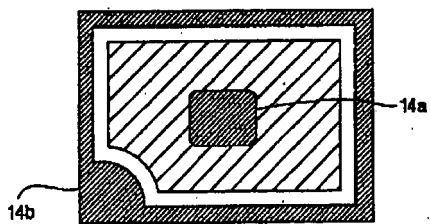
【図8A】



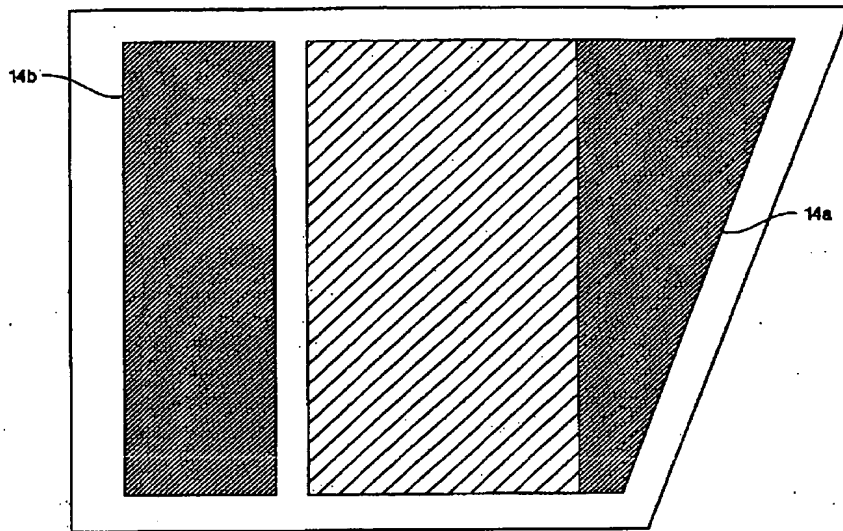
【図8B】



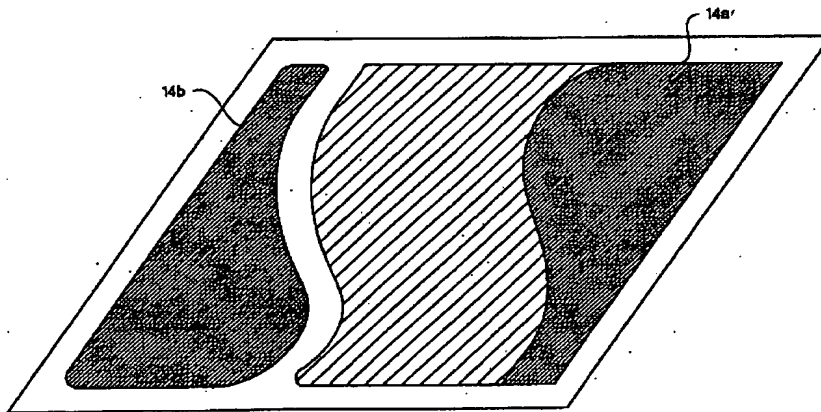
【図18】



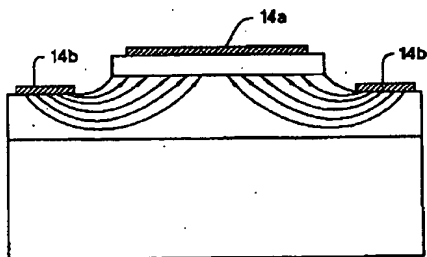
【図8D】



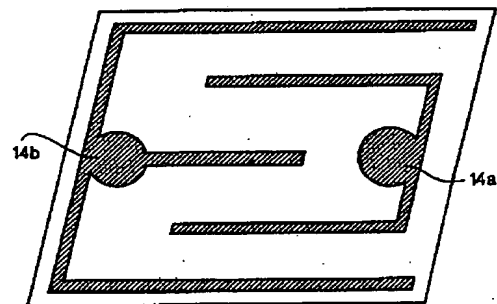
【図8E】



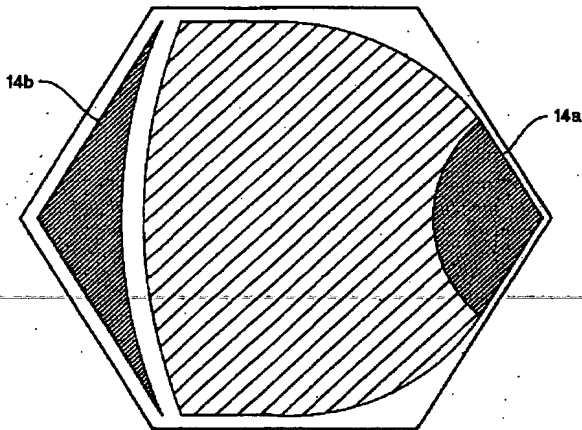
【図10】



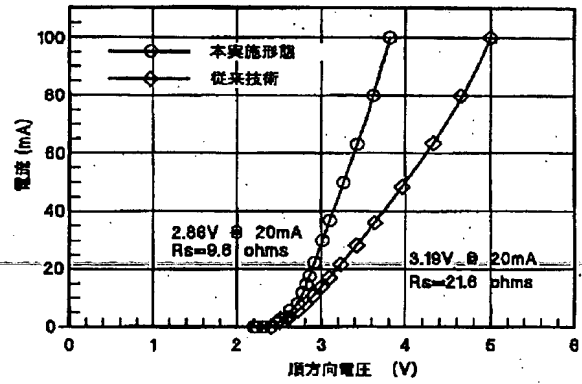
【図17B】



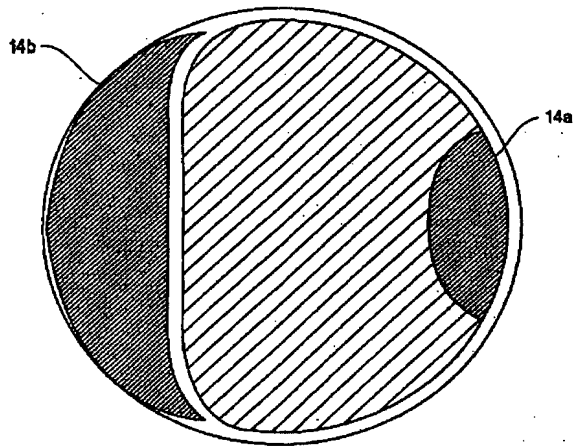
【図8F】



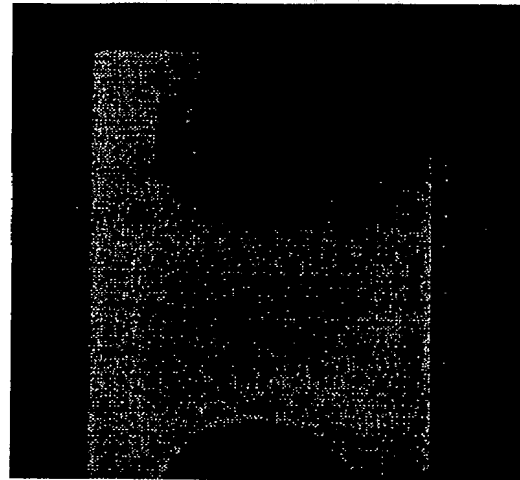
【図11】



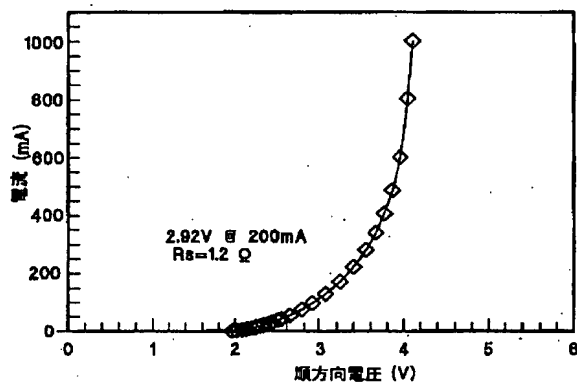
【図8G】



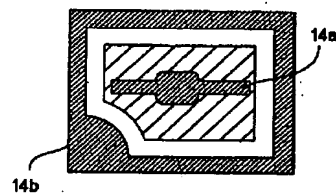
【図12A】



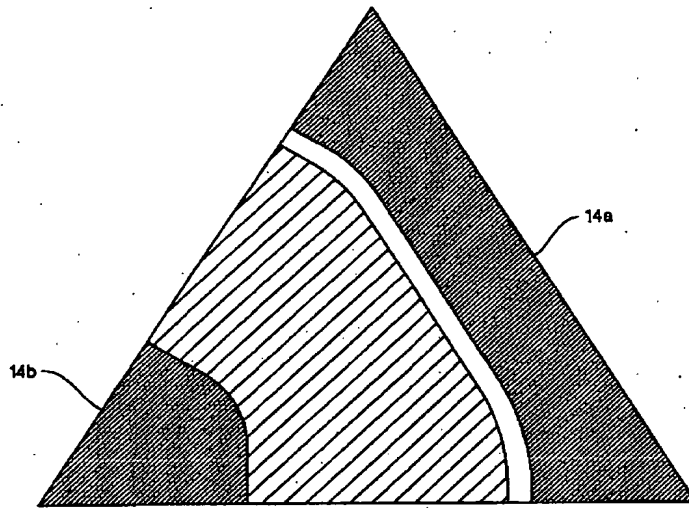
【図15】



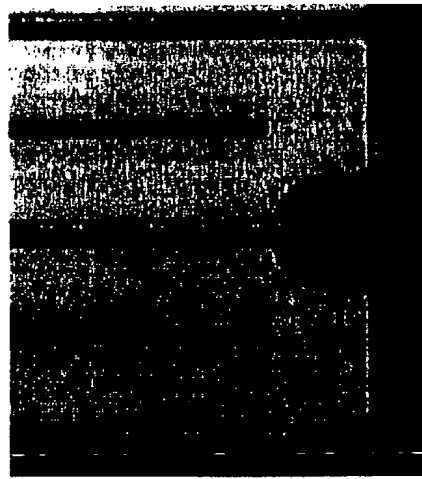
【図21A】



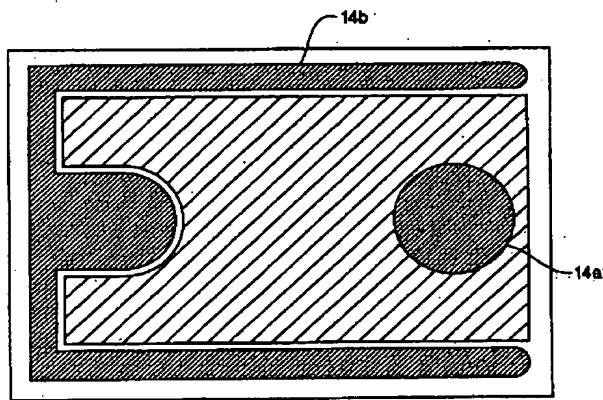
【図8H】



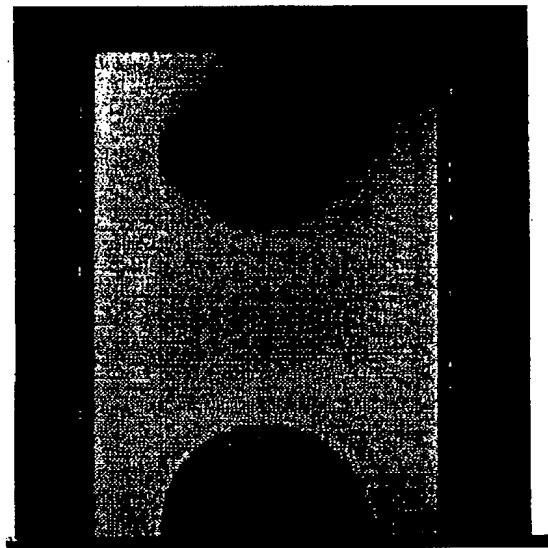
【図16】



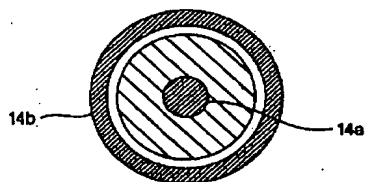
【図9】



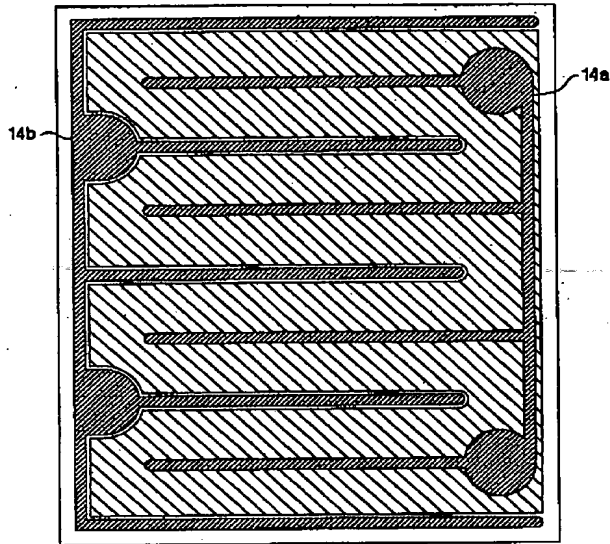
【図12B】



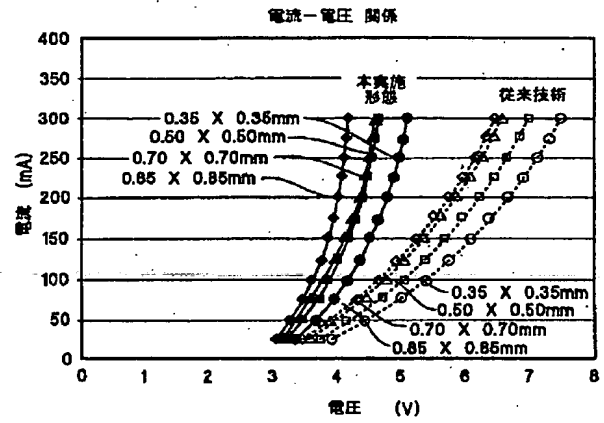
【図21B】



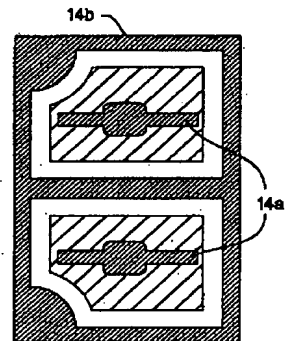
【図13】



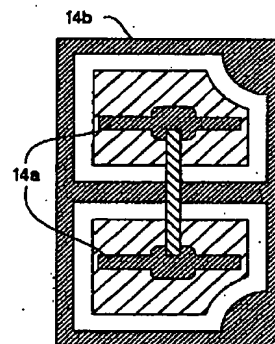
【図19】



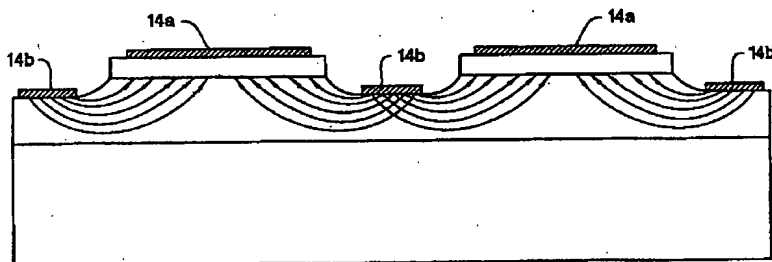
【図23A】



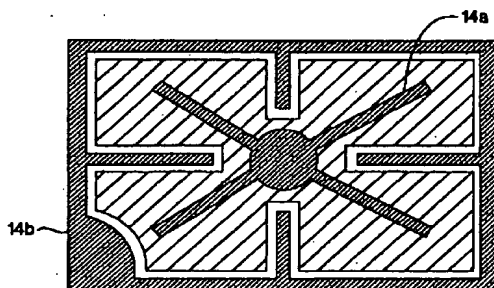
【図23B】



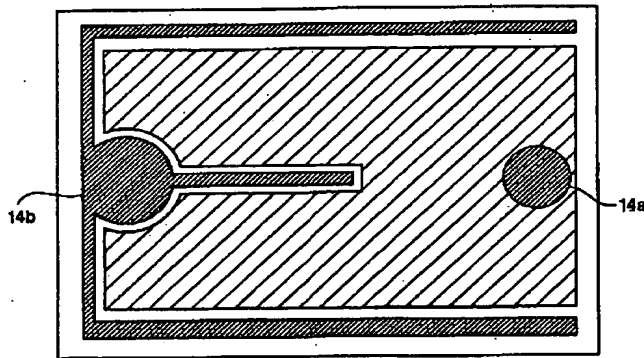
【図14】



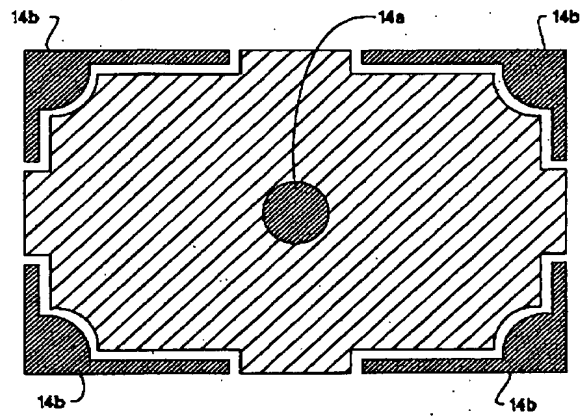
【図21C】



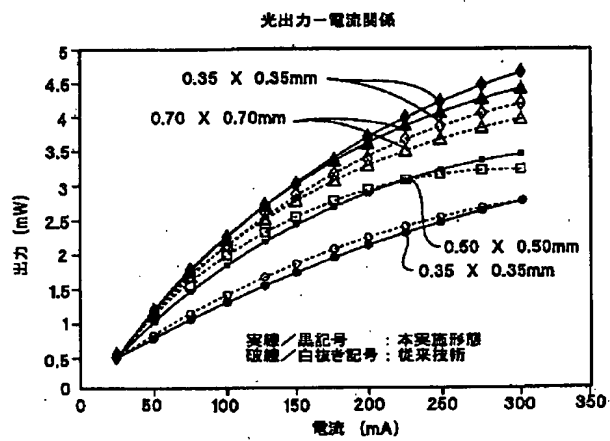
【図17A】



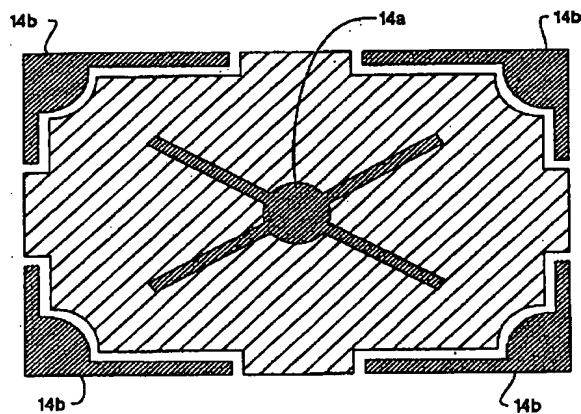
【図22A】



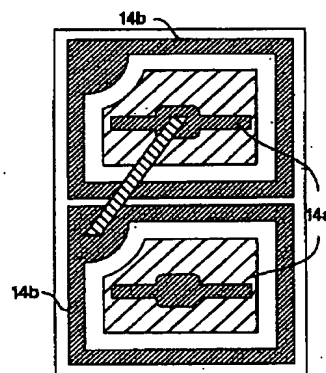
【図20】



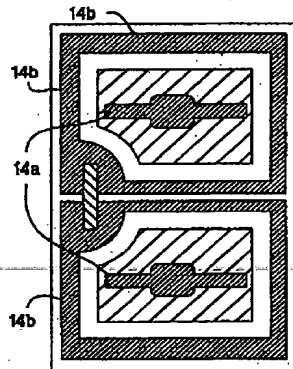
【図22B】



【図23C】



【図23D】



【手続補正書】

【提出日】平成11年12月3日(1999. 12. 3)

【手続補正1】

*【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図22C

*【補正方法】削除

フロントページの続き

(71)出願人 399117121
395 Page Mill Road P
alo Alto, California
U. S. A.

(72)発明者 サージ・エル・ラダス
アメリカ合衆国カリフォルニア州94086,
サニーベイル, サンセット・アベニュー・
382

(72)発明者 スティーブン・ディー・レスター
アメリカ合衆国カリフォルニア州94306,
バロアルト, マタデロ・アベニュー・829

(72)発明者 ボール・エス・マーティン
アメリカ合衆国カリフォルニア州94588,
ブレザントン, フェアオークス・ドライ
ブ・7665

(72)発明者 ウィリアム・アール・イムラー
アメリカ合衆国カリフォルニア州94602,
オークランド, ウィスコンシン・ストリー
ト・3327

(72)発明者 ロバート・エム・フレッチャー
アメリカ合衆国カリフォルニア州95126,
サンノゼ, ハダーズフィールド・コート・
1520

(72)発明者 フレッド・エイ・キッシュ, ジュニア
アメリカ合衆国カリフォルニア州95131,
サンノゼ, ニューゲート・コート・5815

(72)発明者 スティーブン・エイ・マラノウスキー
アメリカ合衆国カリフォルニア州95124,
サンノゼ, ウィロウ・クリーク・ドライ
ブ・1737